

## HASIL PENELITIAN

**POTENSI *SLUDGE* DARI INDUSTRI KERTAS SEBAGAI BAHAN BAKU  
*CHIPBOARD*  
 (POTENTIAL OF PAPER INDUSTRY *SLUDGE* AS *CHIPBOARD* RAW  
 MATERIALS)**

**Henggar Hardiani<sup>1</sup>, Rina Masriani<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Balai Besar Pulp dan Kertas, Jl. Raya Dayeuhkolot No. 132 Bandung  
 e-mail : henggarhardiani@gmail.com

Naskah diterima 20 Februari 2015, disetujui 02 April 2015

**ABSTRAK**

Pengelolaan limbah sebagai isu lingkungan penting untuk dilakukan, terutama dari perspektif regulasi. Adanya larangan impor kertas daur ulang, merupakan masalah bagi industri pulp dan kertas. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk meneliti potensi pemanfaatan *sludge* IPAL dari industri kertas di Indonesia sebagai bahan baku pembuatan *chipboard* berdasarkan karakteristik *sludge*. Evaluasi terhadap aspek lingkungan berdasarkan uji karakteristik beracun TCLP dan uji toksikologi LD<sub>50</sub> untuk mengetahui apakah *sludge* termasuk kategori limbah B<sub>3</sub> juga dilakukan. Hasil uji menunjukkan bahwa kadar alfa selulosa *sludge* relatif cukup tinggi (45-84%). *Sludge* primer pulp *virgin* mengandung kadar alfa selulosa yang tinggi (76-84 %), kadar abu (3-14 %), dan kadar *finer* yang cukup rendah (30-34 %). *Sludge* primer maupun *sludge* final berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *chipboard*. Akan tetapi *sludge* primer pada umumnya didaur ulang sehingga *sludge* final lebih berpotensi untuk dimanfaatkan. Hasil analisa spektra FT-IR *sludge* menunjukkan bahwa komponen kimia yang dominan dalam *sludge* adalah selulosa. Data kandungan serat dan kandungan *finer* sejalan dengan pengamatan menggunakan SEM. Berdasarkan hasil uji TCLP dan LD<sub>50</sub>, diketahui bahwa *sludge* mengandung logam berat, inorganik dan organik yang bersifat stabil, sehingga aman terhadap lingkungan dan dapat dimanfaatkan. Dengan demikian *sludge* mempunyai potensi sebagai bahan baku pada industri karton *chipboard*.

**Kata kunci :** *Chipboard*, industri kertas, LD<sub>50</sub>, *sludge* IPAL, TCLP

**ABSTRACT**

*From the regulatory perspectives, pulp and paper mill sludge management as a environmental issue is significant. The restricted of imported recycle paper is a problem for the pulp and paper industry. Therefore a research was conducted to determine utilization potential of the WWTP sludge from paper industry in Indonesia as raw material for chipboard based on the characteristics of the sludge. The environmental aspects evaluation also has been conducted TCLP test and toxicology LD50 to determine whether the sludge waste category B3. The test results showed that the levels of alpha cellulose sludge is high (45-84%). Primary Sludge from virgin pulp contains high alpha cellulose (76-84%), ash content (3-14%), and the fines are quite low (30-34%). Potential of primary and final sludge to be used as raw material for chipboard. However, the primary sludge is generally recycled so that the final sludge are more preferable to be utilized. The results of FT-IR spectra analysis showed that the dominant chemical components in the sludge are cellulose. Fiber and fines content in line with the observation using SEM. Based on the results of the TCLP test and LD50, it is known that the sludge contains heavy metals, inorganic and organic are stable, so it is safe for the environment and can be utilized. Thus sludge has potential as a raw material for chipboard.*

**Keywords :** *Chipboard*, paper industry, LD<sub>50</sub>, *sludge* WWTP, TCLP

## PENDAHULUAN

Industri pulp dan kertas merupakan industri yang menggunakan bahan baku, energi dan air dalam jumlah besar, serta menghasilkan air limbah, emisi gas dan *sludge* (Abubakr, dkk, 1995). Pada umumnya penanganan air limbah dan emisi gas di industri pulp dan kertas telah dapat dikelola dengan baik, akan tetapi endapan berupa lumpur dari pengolahan air limbah yang diproses lanjut menjadi *sludge* masih bermasalah.

Industri kertas menghasilkan *sludge* dari Instalasi Pengolahan Air (IPAL) dalam jumlah besar yaitu 0,3-1,0 m<sup>3</sup>/ton produk dengan dasar kadar padatan 1-3% (Soetopo, dkk, 2011). Padatan ini dapat di-*press* dari 1,5% menjadi 6,5% (Scott, dkk, 1995) tergantung pada karakteristik bahan baku, yang saat ini penanganannya masih bermasalah. Apabila produksi riil pulp sebesar 5,5 juta ton/tahun (APKI, 2011), maka *sludge* yang dihasilkan industri pulp sebesar 0,16-0,21 juta ton/tahun atau 500–700 ton/hari, sedangkan dari industri kertas dengan produksi riil sebesar 8,21 juta ton/tahun akan menghasilkan *sludge* sebesar 0,25 - 0,33 juta ton/tahun atau sekitar 800 – 1100 ton/hari.

Saat ini masalah yang masih dihadapi oleh industri pulp dan kertas nasional adalah larangan impor kertas daur ulang. Pertumbuhan industri pulp dan kertas termasuk karton juga akan meningkatkan terbentuknya *sludge* sebagai hasil samping. Pada saat ini industri karton skala kecil umumnya mengalami kesulitan mendapatkan bahan baku baik berupa pulp maupun kertas daur ulang dalam jumlah yang cukup untuk produksi.

Pentingnya pengelolaan *sludge* industri pulp dan kertas sebagai isu lingkungan diakui baik dari industri dan perspektif regulasi (Shilpa, dkk, 2012). Pengelolaan *sludge* IPAL industri pulp dan kertas umumnya dilakukan dengan cara dibuang ke *Landfill* atau dibakar, namun cara tersebut bukan pilihan yang tepat, karena dapat berpotensi mencemari tanah,

air tanah, dan udara (Suriyanarayanan, dkk, 2010).

Limbah industri pulp kertas berasal dari beberapa unit proses yang umumnya merupakan hasil akhir suatu proses. Secara fisik limbah padat yang berasal dari IPAL industri kertas berbentuk seperti lumpur (*sludge*). Limbah ini sering menimbulkan masalah. Karakteristik *sludge* industri kertas dapat dibagi dalam 3 kelompok, sesuai dengan proses pengolahan air limbahnya, yaitu *sludge* primer dari IPAL sistem fisika- kimia, *sludge* sekunder dari IPAL biologi serta campuran *sludge* primer dan sekunder atau *sludge* final (Boni, dkk, 2003). Komposisi *sludge* primer terutama terdiri dari serat-serat selulosa yang berasal dari mesin kertas yang keluar bersama air limbah, sedangkan komposisi *sludge* biologi terutama terdiri dari biomassa hasil degradasi zat-zat organik dalam air limbah oleh mikroba (Bajpai, 2015). Komposisi *sludge* final (campuran *sludge* primer dan *sludge* sekunder), umumnya terdiri dari serat-serat selulosa, mineral-mineral dan biomassa mikroba. Komposisi *sludge* sangat bervariasi tergantung pada bahan baku, proses pembuatan kertas, jenis produk yang dihasilkan dan sistem pengolahan air limbah di industri masing-masing (Abubakr, dkk, 1995; Bajpai, 2015). Dengan mengetahui sumber limbah dan produk yang dihasilkan akan memberikan gambaran tentang karakteristik limbah tersebut.

*Sludge* primer IPAL industri kertas mengandung 60% serat dan sisanya bahan pengisi, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk pembuatan karton sebagai produk yang sifatnya *low grade* dari produk asalnya. Pemanfaatan *sludge* primer untuk *chipboard* merupakan salah satu alternatif dalam penanganan limbah yang bernilai ekonomis. Pada dasarnya *sludge* pabrik kertas yang dapat digunakan untuk pembuatan *chipboard* berasal dari *sludge* primer IPAL, sedangkan *sludge* hasil pengolahan biologi tidak dapat digunakan sebagai bahan baku karena sedikit sekali

mengandung serat dan sebagian besar berupa biomassa (Jesus, dkk, 2008).

Untuk menghindari efek pencemaran, saat ini pengelolaan *sludge* IPAL di industri pulp dan kertas cenderung dilakukan dengan cara memanfaatkan potensi limbahnya menjadi produk yang bernilai ekonomi dan ramah lingkungan. Menurut Boni, dkk (2003), pemulihan dan penggunaan kembali *sludge* dari industri kertas tampaknya menjadi alternatif yang menarik untuk pengelolaan terpadu limbah dari industri kertas. Beberapa produk karton yang dapat dibuat antara lain *chipboard*, *core board*, sol alas kaki, dan penyekat tas. Produk-produk tersebut telah banyak dibuat dengan menggunakan bahan baku kertas daur ulang. Bila sebagian atau seluruhnya dari bahan baku tersebut disubstitusi dengan *sludge* dari industri kertas maka produsen karton dapat menurunkan biaya bahan baku, sementara industri kertas akan diuntungkan oleh termanfaatkannya *sludge* tersebut. Pemanfaatan *sludge* IPAL industri kertas sebagai bahan baku pembuatan karton dengan *grade* rendah diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif pengelolaan *sludge*, selain itu juga dapat meningkatkan kinerja produsen karton atau *chipboard*.

Berdasarkan SNI 6692:2012 *chipboard* adalah jenis karton padat (*solid fiberboard*) yang umumnya dibuat dari berbagai jenis kertas bekas. Karakteristik utama yang diperlukan agar dapat terbentuk lembaran karton adalah kandungan serat pada bahan baku yang digunakan. Komponen utama serat yang memberikan kontribusi terhadap kekuatan karton terutama adalah kandungan alfa selulosa (Smook, 2002). Kertas bekas pada umumnya tidak hanya mengandung serat tetapi juga mengandung aditif kimia. Aditif kimia yang digunakan terdiri dari bahan organik dan anorganik. Bahan anorganik yang digunakan dalam jumlah cukup banyak sebagai bahan pengisi merupakan bahan mineral yang akan terdeteksi sebagai kadar abu (Hipolit, 1992).

Penelitian ini dilakukan untuk meneliti potensi pemanfaatan *sludge* IPAL dari

industri kertas di Indonesia sebagai bahan baku pembuatan *chipboard* berdasarkan karakteristik *sludge*. Pada pemanfaatan limbah, timbul kekhawatiran terjadinya dampak negatif pada lingkungan, sehingga perlu mengutamakan perlindungan terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta perlindungan kelestarian lingkungan hidup dengan menerapkan prinsip ke hati-hatian. Oleh karena itu dengan mengacu pada PP No.101 tahun 2014 yang terkait dengan pengelolaan limbah B3, pada penelitian ini telah dilakukan karakterisasi terhadap *sludge* IPAL dengan melakukan uji toksisitas yaitu uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) dan *Median Lethal Dosis* (LD50).

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan alat

*Sludge* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari IPAL industri kertas di Indonesia yang mewakili variabel bahan baku (pulp virgin dan kertas daur ulang), variabel jenis produk yang dihasilkan (karton, kertas medium, kertas dupleks, tissue, kertas cetak, *chipboard*, kertas khusus) dan sistem pengolahan air limbah (primer, dan final), yaitu *sludge* primer dan final pulp *virgin*, *sludge* primer dan final pulp *virgin* (terintegrasi), *sludge* primer dan final karton daur ulang, *sludge* primer kertas medium daur ulang, *sludge* primer dan final kertas dupleks daur ulang, *sludge* final kertas dupleks daur ulang dan tissue, *sludge* final kertas cetak daur ulang, *sludge* final *chipboard* daur ulang, *sludge* final berbagai kertas daur ulang dan kertas khusus.

### Peralatan

Peralatan uji fraksionasi serat Bauer Mc-Nett, spektrofotometer UV-VIS, *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR), peralatan gelas untuk uji alfa selulosa dan abu, tanur, *scanning electron microscope* (SEM), *atomic absorption spectroscopy* (AAS), *gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS).

### Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium. Potensi *sludge* sebagai bahan baku pembuatan *chipboard* diteliti berdasarkan karakteristiknya, meliputi karakteristik kimia dan komposisi serat; karakteristik gugus fungsi; karakteristik permukaan lembaran *chipboard* dari *sludge*; dan evaluasi terhadap aspek lingkungan. Karakteristik kimia dan komposisi serat yang diteliti meliputi alfa selulosa, kadar abu, kadar serat dan *finer*, menggunakan cara uji SNI 0444 Pulp-Cara uji kadar selulosa alfa, beta dan gamma; SNI 0442:2009 Kertas, karton dan Pulp – Cara uji kadar abu pada 525°C; SNI 14-1552-1989 : Cara uji fraksionasi serat pulp (Metode Mc. Nett). Karakteristik gugus fungsi dianalisis melalui pengujian dengan FTIR dibandingkan dengan spektra FTIR selulosa standar. Karakteristik permukaan *chipboard* dari *sludge* dilakukan dengan cara analisis permukaan secara mikro menggunakan SEM. Evaluasi terhadap aspek lingkungan dilakukan berdasarkan uji karakteristik beracun *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) dan analisis toksikologi LD<sub>50</sub>. Analisis TCLP dilakukan untuk menentukan mobilitas baik analit organik dan anorganik yang ada dalam limbah, untuk menentukan adanya kontaminan yang teridentifikasi toksik (berdasarkan *Environmental Protection Agency*/EPA) dalam bentuk lindi dan konsentrasinya. Metode uji yang digunakan adalah APHA 3120 B (logam) dan USEPA 8270 (senyawa organik). LD<sub>50</sub> (*Median Lethal Dosis*) adalah uji toksisitas hayati menggunakan hewan uji untuk mengetahui konsentrasi yang menyebabkan kematian hewan uji sebanyak 50%. Waktu pengamatan pada umumnya adalah 96 jam dan biota uji yang digunakan mengacu

pada OECD 425-2001 tentang *Acute Oral Toxicity*.

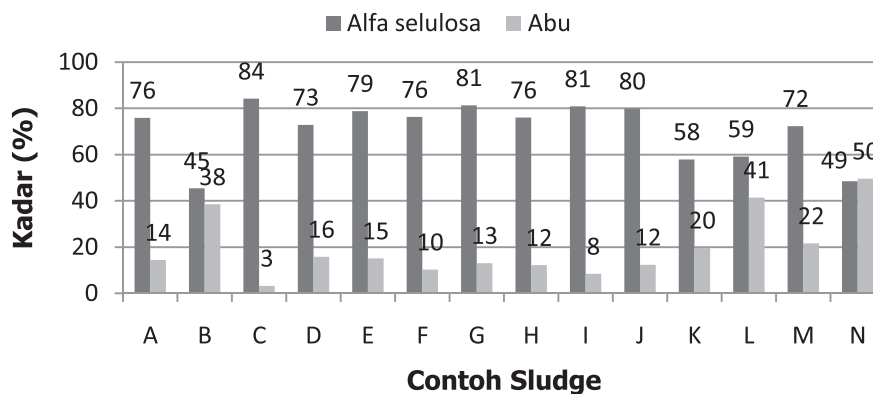
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Karakteristik Kimia dan Komposisi Serat *Sludge* Industri Kertas

Karakteristik *sludge* ditentukan oleh sejumlah faktor seperti sumber (bahan baku dan produk yang dihasilkan) dan jumlahnya, sifat-sifat fisik, komposisi kimia serta tingkat pengolahan pendahuluan yang telah dilakukan. Dengan mengetahui jenis *sludge* dari sumber, bahan baku dan jenis produk yang dihasilkan akan memberikan gambaran tentang karakteristik *sludge* tersebut. Pada Gambar 1 dan 2 terlihat bahwa karakteristik *sludge* sangat bervariasi tergantung pada bahan baku yang digunakan dalam pembuatan kertas dan sistem pengolahan air limbah. Karakterisasi terhadap *sludge* dilakukan analisa komponen kimia (kadar alfa selulosa dan kadar abu pada Gambar 1) dan komposisi serat (kadar serat dan kadar *finer* pada Gambar 2). *Finer* merupakan serat halus yang lolos saringan ukuran 200 mesh.

Hasil analisis kadar alfa selulosa pada Gambar 1 menunjukkan bahwa *sludge* primer pulp *virgin* cenderung mengandung alfa selulosa yang lebih tinggi (rata-rata 80% dengan kisaran 76-84%), dibandingkan dengan *sludge* primer yang berasal dari kertas daur ulang (rata-rata 77% dengan kisaran 76-79%). Menurut Méndez, dkk (2009) dalam Likon and Trebse, (2012), kandungan bahan organik dalam *sludge* primer dari pulp *virgin* adalah 93,79%. Kandungan organik dalam serat terdiri dari selulosa, hemi selulosa dan lignin.





**Gambar 1.** Karakteristik Kimia *Sludge*

Keterangan:

A : *Sludge* primer pulp *virgin*

B : *Sludge* final pulp *virgin*

C : *Sludge* primer pulp *virgin* (terintegrasi)

D : *Sludge* final pulp *virgin* (terintegrasi)

E : *Sludge* primer karton daur ulang

F : *Sludge* primer kertas medium daur ulang

G : *Sludge* final karton daur ulang

H : *Sludge* primer kertas dupleks daur ulang

I : *Sludge* final kertas dupleks daur ulang

J : *Sludge* final kertas dupleks daur ulang dan tissue

K : *Sludge* final kertas cetak daur ulang pabrik A

L : *Sludge* final kertas cetak daur ulang pabrik B

M : *Sludge* final *chipboard* daur ulang

N : *Sludge* final berbagai kertas daur ulang dan kertas khusus

Dari kandungan organik tersebut, kadar alfa selulosa dalam *sludge* yang diteliti masih cukup tinggi. Menurut Smook, G. A. (2002), alfa selulosa atau selulosa rantai panjang merupakan kandungan utama serat dalam pembuatan kertas, semakin tinggi kandungan alfa selulosa maka kekuatan lembaran akan semakin baik. Selulosa adalah polisakarida linier dari anhidroglukosa yang berikatan secara  $\beta$ -1,4-glikosidik, dengan rumus kimia  $(C_6H_{10}O_5)_n$ ,  $n$  merupakan jumlah pengulangan unit D-glukosa atau derajat polimerisasi (DP). Serat yang digunakan pada pembuatan kertas memiliki DP pada kisaran 600-1500. Selain alfa selulosa, serat juga mengandung polisakarida dengan rantai yang lebih pendek, yang dikenal sebagai hemiselulosa. Berdasarkan derajat polimerisasinya, hemiselulosa dan selulosa terdegradasi dikategorikan menjadi beta selulosa (DP 15-90) dan gamma selulosa (DP < 15).

*Sludge* final pulp *virgin* cenderung mengandung alfa selulosa yang lebih rendah (rata-rata 59% dengan kisaran 45-73%), dibandingkan dengan *sludge* final yang berasal dari kertas daur ulang (rata-

rata 69% dengan kisaran 49-81%). Kecenderungan yang berbeda pada *sludge* final menunjukkan bahwa komposisi kimia *sludge* tidak hanya ditentukan oleh bahan baku dan produk yang dihasilkan tetapi juga oleh tingkat pengolahan yang telah dilakukan. Seperti dikemukakan sebelumnya, *sludge* final merupakan campuran *sludge* primer dan *sludge* sekunder, *sludge* sekunder merupakan hasil pengolahan limbah secara biologi sehingga komponen utamanya terutama terdiri dari biomassa mikroba.

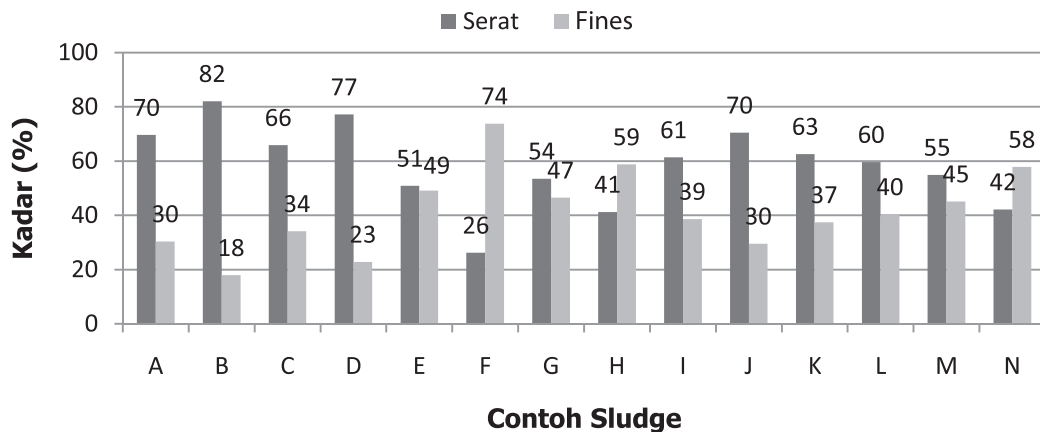
Kadar alfa selulosa terendah pada *sludge* final pulp *virgin* adalah pada contoh *sludge* B (*Sludge* final pulp *virgin*) yang mengandung 45% alfa selulosa dan 38% abu, serta 16% bahan yang belum teranalisis. *Sludge* B memiliki kadar serat 82% dan kadar *finer* 18% (Gambar 2). Retensi yang baik dari *sludge* B menunjukkan kemungkinan bahan yang belum teranalisis adalah hemiselulosa dan selulosa terdegradasi sebagai hasil pengolahan limbah secara biologi, yang

mendegradasi alfa selulosa menjadi selulosa rantai pendek.

Pada *sludge* final kertas daur ulang, kadar alfa selulosa terendah adalah contoh *sludge* N (*Sludge* final kertas daur ulang) yang mengandung 49% alfa selulosa dan 50% abu serta kadar bahan yang belum teranalisis hanya 1%. Kertas hanya berisi serat (selulosa) dan kalsium karbonat yang berasal dari bahan pengisi. Pengabuan pada 525°C akan mendegradasi selulosa menjadi karbondioksida dan air, tetapi akan meninggalkan abu kalsium karbonat. Gambar 1 menunjukkan, kadar abu pada *sludge* primer pulp *virgin* cenderung mengandung kadar abu yang lebih rendah (rata-rata 9% dengan kisaran 3-14%), dibandingkan dengan *sludge* primer yang berasal dari kertas daur ulang (rata-rata 12% dengan kisaran 10-15%). Hasil penelitian ini sesuai dengan data dari Méndez, dkk (2009) dalam Likon dan Trebse (2012), menyebutkan bahwa kadar abu dalam *sludge* primer dari pulp *virgin* adalah 6,21%. *Sludge* final pulp *virgin* cenderung mengandung kadar abu yang lebih tinggi (rata-rata 27% dengan kisaran 16-38%), dibandingkan dengan *sludge* final yang berasal dari kertas daur ulang (rata-rata 24% dengan kisaran 8-50%). Kadar abu yang tinggi menunjukkan bahwa adanya penggunaan bahan pengisi yang cukup banyak dan tidak ter-retensi dengan baik. Partikel abu memiliki ukuran yang lebih kecil dari pori-pori *wire* pada pembuatan kertas, sehingga jika kadar abu terlalu tinggi akan banyak yang lolos atau tidak ter-retensi. Selain itu, bahan pengisi akan mengurangi kekuatan pada lembaran karena kekuatan lembaran dibangun dari ikatan hidrogen antar serat. Bahan pengisi merupakan senyawa mineral yang tidak bisa membentuk ikatan hidrogen dengan

serat. *Sludge* primer mengandung kadar abu rendah sehingga memiliki potensi yang baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *chipboard*.

Pada penelitian ini komposisi serat *sludge* difraksinasi menjadi dua kelompok yaitu kadar serat (fraksi yang tidak lolos saringan 250 mesh) dan fraksi yang lolos saringan 250 mesh (dinyatakan sebagai *finer*). Sementara Krigstin dan Sain (2006), membagi komposisi serat *sludge* menjadi tiga fraksi yaitu fraksi serat panjang, fraksi tidak lolos saringan 40 mesh dan fraksi yang lolos saringan 40 mesh. Komposisi serat berkisar antara 26 – 82%, sedangkan kadar *finer* pada kisaran 18 – 74%. Hasil analisis fraksinasi serat pada Gambar 2 menunjukkan bahwa *sludge* primer pulp *virgin* cenderung mengandung kadar *finer* yang lebih rendah (rata-rata 32% dengan kisaran 30-34%), dibandingkan dengan *sludge* primer yang berasal dari kertas daur ulang (rata-rata 61% dengan kisaran 49-74%). Demikian pula *sludge* final pulp *virgin* cenderung mengandung kadar *finer* yang lebih rendah (rata-rata 20% dengan kisaran 18-23%), dibandingkan dengan *sludge* final yang berasal dari kertas daur ulang (rata-rata 42% dengan kisaran 30-58%). Menurut Bajpai (2015), kecenderungan hasil tersebut menyatakan jumlah limbah yang dihasilkan dari industri kertas yang menggunakan bahan baku kertas daur ulang sangat berbeda dengan jumlah limbah yang menggunakan *virgin* pulp, dan juga komposisinya. Menurut Krigstin dan Sain (2006), semakin tinggi fraksi serat panjang kadar abunya cenderung lebih rendah dan sebaliknya. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, *sludge* yang mengandung kadar *finer* yang tinggi cenderung mengandung kadar abu yang tinggi.

Gambar 2. Komposisi Serat *Sludge*

Keterangan:

A : *Sludge* primer pulp *virgin*

B : *Sludge* final pulp *virgin*

C : *Sludge* primer pulp *virgin* (terintegrasi)

D : *Sludge* final pulp *virgin* (terintegrasi)

E : *Sludge* primer karton daur ulang

F : *Sludge* primer kertas medium daur ulang

G : *Sludge* final karton daur ulang

H : *Sludge* primer kertas dupleks daur ulang

I : *Sludge* final kertas dupleks daur ulang

J : *Sludge* final kertas dupleks dan tissue daur ulang

K : *Sludge* final kertas cetak daur ulang pabrik A

L : *Sludge* final kertas cetak daur ulang pabrik B

M : *Sludge* final *chipboard* daur ulang

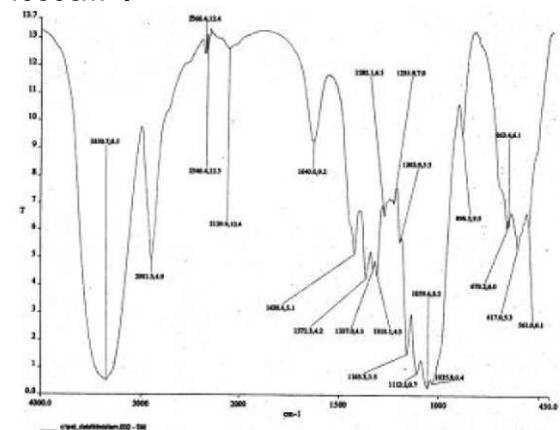
N : *Sludge* final kertas khusus daur ulang

Berdasarkan kadar alfa selulosa yang masih tinggi (kisaran 45-84%), maka *sludge* primer maupun final berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *chipboard*. Karakteristik *sludge* sangat dipengaruhi oleh sumber bahan baku dan tingkat pengolahan yang telah dilakukan. Jenis *sludge* terbaik adalah *sludge* primer pulp *virgin* karena mengandung kadar alfa selulosa yang tinggi, kadar abu dan kadar *fines* yang cukup rendah. Akan tetapi *sludge* primer pada umumnya didaur ulang (Kujala, 2012), sehingga *sludge* final lebih berpotensi untuk dimanfaatkan

### Karakteristik Gugus Fungsi *Sludge* Industri Kertas

Untuk meneliti karakteristik gugus fungsi dari berbagai jenis *sludge* industri kertas dilakukan pengujian dengan *Fourier Transform Infrared Spectrophotometri* (FT-IR), dan hasilnya disajikan pada Gambar 4 dan 5. Analisis ini dilakukan dengan cara membandingkan spektrum yang terbaca dengan standar menurut Dian, dkk, (2012) pada Gambar 3 spektrum FT-IR dibaca pada rentang panjang gelombang ( $\lambda$ ) 400-

4000 $\text{cm}^{-1}$ .

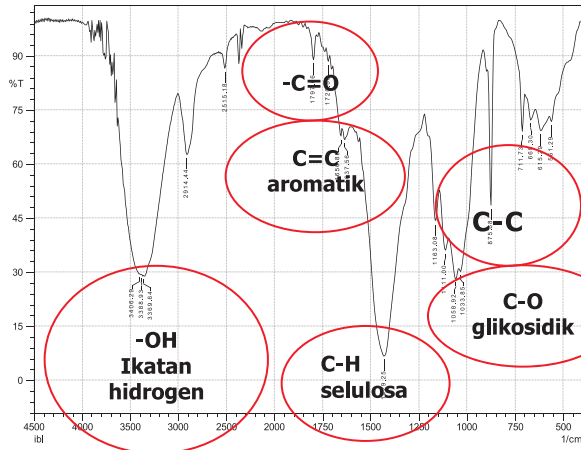


\*Sumber : Jurnal Penelitian Sains, 2012

Gambar 3. Spektra FT-IR selulosa standar

Pada Gambar 3 spektra FT-IR selulosa standar terlihat gugus-gugus spesifik untuk selulosa antara lain -OH, -CH<sub>2</sub>, -O- yang berulang muncul pada spektrum FT-IR hasil pengukuran. Gugus-gugus fungsi yang terbaca pada spektrum selulosa menunjukkan adanya serapan -OH pada 3450-3000  $\text{cm}^{-1}$ , serapan C=O karbonil pada 1740-1730  $\text{cm}^{-1}$  yang diperkuat dengan serapan C-H selulosa pada 1384-1346  $\text{cm}^{-1}$ , serta serapan C=C yang berikatan secara aromatik pada 1640-

1504  $\text{cm}^{-1}$  (Hosokawa, dkk, 1990); Silverstein, dkk, 1997) serta adanya serapan C-C di 1250-800  $\text{cm}^{-1}$  (Silverstein, dkk, 1997).



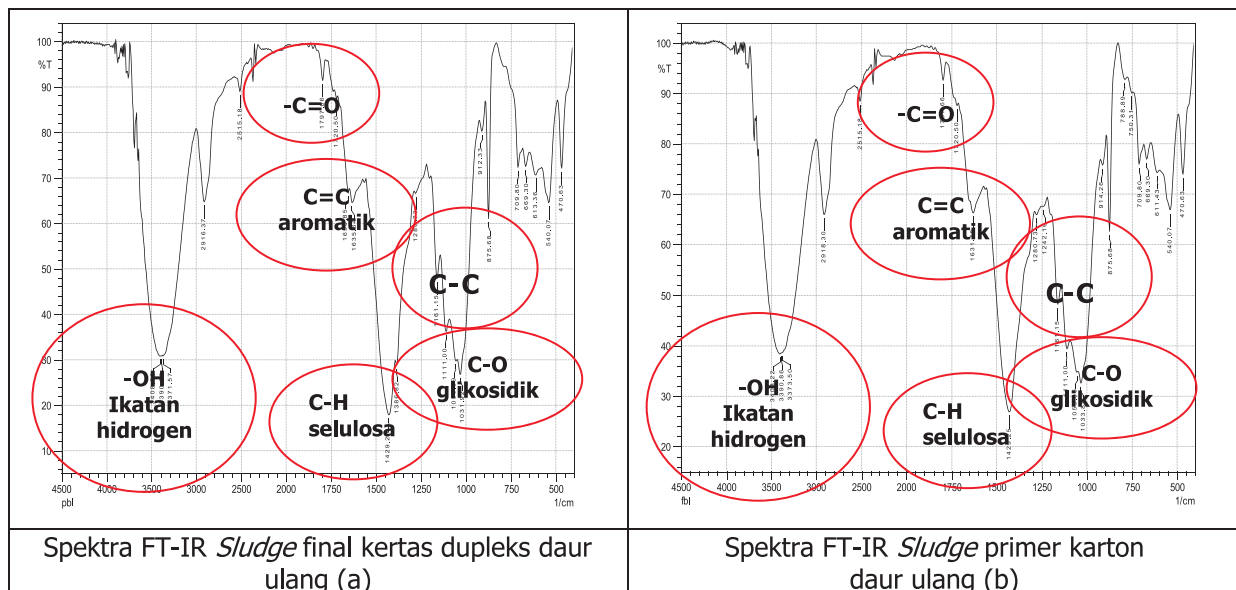
**Gambar 4.** Spektra FT-IR *sludge virgin*

Spektra FT-IR *sludge* primer pulp *virgin* pada Gambar 4 jika dibandingkan dengan spektra FT-IR selulosa standar memiliki kemiripan, terutama pada beberapa panjang gelombang yang khas untuk selulosa, yaitu serapan pada panjang gelombang 3370-3400  $\text{cm}^{-1}$ . Vibrasi pada daerah ini menunjukkan adanya gugus -OH. Lebar puncak pada spektra FT-IR

*sludge* primer pulp *virgin* dan selulosa standar hampir sama. Puncak yang sangat lebar pada spektrum yang terbaca menunjukkan terjadinya ikatan hidrogen dalam struktur selulosa.

Pada Gambar 4 juga nampak adanya puncak serapan C=O karbonil pada 1798  $\text{cm}^{-1}$ , puncak serapan C-H selulosa pada 1429  $\text{cm}^{-1}$ , serta puncak serapan C=C yang berikatan secara aromatik pada 1657-1638  $\text{cm}^{-1}$ . Puncak vibrasi di daerah 1058-1034  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan C-O yang berikatan secara glikosidik, serta adanya serapan C-C di 1163-876  $\text{cm}^{-1}$ . Berdasarkan hasil analisis perbandingan spektra FT-IR *sludge* primer pulp *virgin* pada Gambar 4 dan selulosa standar pada Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa komponen kimia yang dominan dalam *sludge* adalah selulosa.

Hasil analisis perbandingan spektra FT-IR *sludge* kertas dan karton daur ulang pada Gambar 5 dengan selulosa standar pada Gambar 3 juga menunjukkan serapan-serapan yang khas dari selulosa, sehingga dapat disimpulkan bahwa komponen kimia yang dominan dalam *sludge* kertas dan karton daur ulang adalah selulosa.



**Gambar 5.** Spektra FT-IR *Sludge* kertas dan karton daur ulang

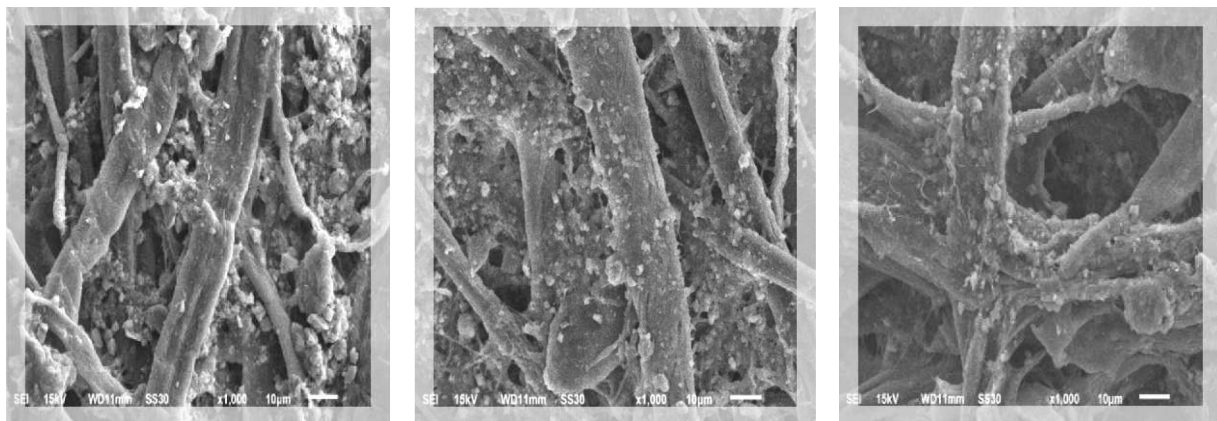


### Karakteristik Permukaan Lembaran *Chipboard* dari *Sludge* Industri Kertas

Karakterisasi permukaan *chipboard* dari *sludge* dilakukan dengan cara analisis permukaan secara mikro menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Hasil pengamatan SEM untuk jenis *sludge* final pulp *virgin*, *sludge* final kertas daur ulang dan *sludge* final karton daur ulang dapat dilihat pada Gambar 6.

Morfologi permukaan *sludge* pulp *virgin* (a) menunjukkan kesan ikatan antar serat yang berbeda dengan *sludge* kertas daur ulang (b) terlihat banyak pori yang tidak terisi ikatan dan tidak terlalu rapat. Hal tersebut dapat berpengaruh pada kekuatan fisik *chipboard* terutama kekuatan ikatan antar seratnya.

Permukaan *sludge* pada gambar 6 menunjukkan perbedaan kesan partikel yang menempel pada serat. *Sludge* pulp *virgin* dan *sludge* kertas daur ulang memperlihatkan kesan partikel non serat yang lebih banyak dibandingkan dengan *sludge* karton daur ulang. Hal ini sejalan dengan hasil analisis kadar selulosa dalam *sludge*. *Sludge* karton daur ulang memiliki kandungan selulosa alfa di atas 80%, sehingga diprediksi masih memiliki serat selulosa yang masih utuh. Partikel-partikel nonserat yang terlihat pada gambar diperkirakan berasal dari bahan pengisi dan kontaminan dari *coating* bahan baku kertas daur ulang. Data kandungan serat dan kandungan *finer* sejalan dengan pengamatan menggunakan SEM.



*Sludge* final pulp *virgin* (a)

*Sludge* final kertas daur ulang (b)

*Sludge* final karton daur ulang (c)

**Gambar 6.** Pengamatan terhadap SEM

### Evaluasi terhadap Aspek Lingkungan berdasarkan Uji Karakteristik Beracun TCLP

Identifikasi terhadap uji karakteristik beracun melalui uji TCLP *sludge* berasal dari industri kertas berbahan baku *virgin* pulp dan kertas berbahan baku kertas dan karton daur ulang telah dilakukan. Hasil analisis TCLP dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil evaluasi secara keseluruhan uji karakteristik limbah B3 (uji TCLP) terhadap *sludge* industri kertas dari bahan baku *virgin* pulp dan kertas dan karton daur ulang telah memenuhi baku mutu persyaratan PP No. 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Hal ini berarti

bahwa *sludge* dari berbagai bahan baku tersebut mengandung komponen logam berat maupun inorganik dan organik yang bersifat stabil atau *immobile*, sehingga aman terhadap lingkungan, bila akan dimanfaatkan sebagai bahan baku *chipboard*.

### Evaluasi terhadap Aspek Lingkungan berdasarkan Uji Karakteristik Beracun Metode Toksikologi LD<sub>50</sub>

Identifikasi terhadap analisis LD<sub>50</sub> dilakukan pada *sludge* berasal dari industri kertas berbahan baku *virgin* pulp dan

kertas berbahan baku karton daur ulang. dilihat pada Tabel 2.  
Hasil uji toksikologi LD<sub>50</sub> tersebut dapat

**Tabel 1.** Analisis TCLP *Sludge*

| No                 | Parameter                              | Satuan | Kelompok Industri dengan bahan baku |                   |                   | Baku mutu PP No. 101 -2014 |        |
|--------------------|--|--------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|--------|
|                    |  |        | virgin                              | Karton daur ulang | Kertas daur ulang | A                          | B      |
| P PARAMETER WAJIB  |  |        |                                     |                   |                   |                            |        |
| ANORGANIK          |  |        |                                     |                   |                   |                            |        |
| 1                  | Arsen (As)                             | mg/L   | <1                                  | <1                | <1                | 3                          | 0,5    |
| 2                  | Barium (Ba)                            | mg/L   | <1                                  | 1                 | 1                 | 210                        | 35     |
| 3                  | Boron (B)                              | mg/L   | <1                                  | <1                | <1                | 150                        | 25     |
| 4                  | Kadmium (Cd)                           | mg/L   | <0.5                                | <0.5              | <0.5              | 0,9                        | 0,15   |
| 5                  | Khromium (Cr <sup>6+</sup> )           | mg/L   | <1                                  | <1                | <1                | 15                         | 2,5    |
| 6                  | Tembaga (Cu)                           | mg/L   | <1                                  | <1                | <1                | 60                         | 10     |
| 7                  | Timbal (Pb)                            | mg/L   | <1                                  | <1                | <1                | 3                          | 0,5    |
| 8                  | Merkuri (Hg)                           | mg/L   | <0.05                               | <0.05             | <0.05             | 0,3                        | 0,05   |
| 9                  | Selenium (Se)                          | mg/L   | <1                                  | <1                | <1                | 3                          | 0,5    |
| 10                 | Perak (Ag)                             | mg/L   | <1                                  | <1                | <1                | 40                         | 5      |
| 11                 | Seng (Zn)                              | mg/L   | <1                                  | 1                 | <1                | 300                        | 50     |
| 12                 | Sianida total (CN)                     | mg/L   | <20                                 | <20               | <20               | 21                         | 3,5    |
| 13                 | Fluorida (F <sup>-</sup> )             | mg/L   | <2                                  | <2                | <2                | 450                        | 75     |
| 14                 | Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | mg/L   | <10                                 | <10               | <10               | 15000                      | 2500   |
| 15                 | Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) | mg/L   | <1                                  | <1                | <1                | 900                        | 150    |
| 16                 | Benzene                                | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 3                          | 0,5    |
| ORGANIK            |  |        |                                     |                   |                   |                            |        |
| 17                 | Karbon tetraklorida                    | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 1,2                        | 0,2    |
| 18                 | Klorobenzene                           | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 120                        | 15     |
| 19                 | Kloroform                              | mg/L   | <0.02                               | <0.02             | <0.02             | 24                         | 3      |
| 20                 | Total-Kresol                           | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 800                        | 100    |
| 21                 | 1,4-Diklorobenzene                     | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 90                         | 15     |
| 22                 | 1,2- Dikloroetana                      | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 15                         | 2,5    |
| 23                 | 1,1-Dikloroetana                       | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 12                         | 3      |
| 24                 | 2,4-Dinitrotoluene                     | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 0,52                       | 0,065  |
| 25                 | Heksaklorobutadiena                    | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 0,18                       | 0,03   |
| 26                 | Metil etil keton                       | mg/L   | <0.05                               | <0.05             | <0.05             | 800                        | 100    |
| 27                 | Nitrobenzena                           | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 8                          | 1      |
| 28                 | Tetrakloroetena                        | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 20                         | 2,5    |
| 29                 | Trikloroetena                          | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 2                          | 0,25   |
| 30                 | 2,4,5-Triklorofenol                    | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 1600                       | 200    |
| 31                 | 2,4,6-Triklorofenol                    | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 8                          | 1      |
| 32                 | Vinil klorida                          | mg/L   | <0.05                               | <0.05             | <0.05             | 0,12                       | 0,015  |
| PESTISIDA          |  |        |                                     |                   |                   |                            |        |
| 33                 | Aldrin + Dieldrin                      | mg/L   | <0.01                               | <0.01             | <0.01             | 0,009                      | 0,0015 |
| 34                 | Klordana                               | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 0,06                       | 0,01   |
| 35                 | Heptaklor                              | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 0,12                       | 0,015  |
| 36                 | Lindane                                | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 0,6                        | 0,1    |
| 37                 | Metosiklor                             | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 6                          | 1      |
| 38                 | Pentaklorofenol                        | mg/L   | <0.01                               | <0.01             | <0.01             | 2,7                        | 0,45   |
| PARAMETER TAMBAHAN |  |        |                                     |                   |                   |                            |        |
| 39                 | Endrin                                 | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 0,12                       | 0,02   |
| 40                 | Heksaklorobenzena                      | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 0,8                        | 0,13   |
| 41                 | Heksakloroetana                        | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 18                         | 3      |
| 42                 | Piridina                               | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 30                         | 5      |
| 43                 | Toksafene                              | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 3                          | 0,5    |
| 44                 | 2,4,5-TP (Silvex)                      | mg/L   | <0.005                              | <0.005            | <0.005            | 6                          | 1      |

Data hasil uji toksisitas terhadap *sludge* kertas dari *virgin* pulp dan kertas berbahan baku karton daur ulang memberikan nilai LD<sub>50</sub> sangat tinggi yaitu >15.000 mg/kg b.b. Dengan mengacu pada PP No. 74 Tahun 2001, nilai tersebut

diklasifikasikan dalam kriteria "Praktis Tidak Toksik", sehingga *sludge* industri kertas tersebut dapat diinterpretasikan aman terhadap kehidupan.

**Tabel 2.** Hasil Uji Toksikologi LD<sub>50</sub>

| Jenis limbah                            | Nilai LD <sub>50</sub><br>(mg/kg b.b) | Kriteria LD <sub>50</sub> 24 jam<br>(PP No. 74 tahun 2001)   | Keterangan                                  |
|---|---------------------------------------|--|---|
| Kertas berbahan baku <i>virgin</i> pulp | >15.000                               | 5 : super toksik<br>5-50 : amat sangat toksik<br>50 – 500 : sangat toksik<br>500 – 5.000 : toksik sedang<br>5.000-15.000 : toksik ringan<br>>15.000 : praktis tidak toksik | <i>Sludge</i> kategori Praktis tidak toksik |
| Kertas berbahan baku karton daur ulang  | >15.000                               | >15.000 praktis tidak toksik   | <i>Sludge</i> kategori Praktis tidak toksik |

## Kesimpulan

Kisaran kadar alfa selulosa baik *sludge* primer maupun final masih tinggi (45-84%), maka berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku yang dominan dalam *sludge* adalah selulosa. Data kandungan serat dan kandungan *finer* sejalan dengan pengamatan menggunakan SEM.

Hasil evaluasi terhadap aspek lingkungan *sludge* industri kertas dari bahan baku *virgin* pulp, kertas dan karton daur ulang berdasarkan hasil uji TCLP dan LD<sub>50</sub>, diketahui bahwa *sludge* mengandung logam berat, inorganik dan organik yang bersifat stabil, sehingga aman terhadap lingkungan dan dapat dimanfaatkan. *Sludge* industri kertas dapat dimanfaatkan dan merupakan salah satu alternatif pengelolaan limbah yang perlu dikembangkan dan diteliti lebih lanjut menjadi produk yang bernilai ekonomi. Pemanfaatan *sludge* IPAL untuk memproduksi karton *chipboard* dapat memberi dampak positif, baik ditinjau dari aspek lingkungan dan teknis juga aspek ekonomi antara lain adalah membantu mengatasi masalah *sludge* industri pulp dan kertas dalam pengelolaannya dan

pembuatan *chipboard*. Akan tetapi *sludge* primer pada umumnya didaur ulang sehingga *sludge* final lebih berpotensi.

Hasil analisis spektra FTIR menunjukkan bahwa komponen kimia mengurangi penggunaan kertas daur ulang terutama kertas daur ulang impor

## DAFTAR PUSTAKA

- Abubakr, S., Smith, A., Scott, G., (1995), "Sludge Characteristics and Disposal Alternatives for the Pulp and paper Industry" *Proceedings of the 1995 International Environmental conference*, TAPPI PRESS, Atlanta, pp 296-279.
- Bajpai, P., (2015), "Management of Pulp and paper Mill Waste" Springer International Publishing Switzerland, ISBN : 978-3-319-11787-4
- Boni, M. R.; Laura, D.; Casa, G., (2003), "Environmental Quality of Primary Paper Sludge" Dipartimento di Idraulica Trasporti e Strade, Facoltà di Ingegneria, Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy.
- Dian, M; Niken, O.; Andrian, A.; Dormian, A.; Lestari, S.; Arison, M.; Adi, S.;

- Aldes, L., (2012), "Ekstraksi Selulosa dari kayu Gelam (*Melaleuca leucadendron* Linn) dan Kayu Serbuk Industri Mebel" *Jurnal Penelitian Sains*, Volume 15 No. 3 (C), Juli 2012
- Hipolit, K. J., (1992), *Chemical Processing Aids in Papermaking: a practical guide*, TAPPI Press, USA.
- Hosokawa, J., M. Nishiyama, K. Yoshihara, T. Kubo, (1990) *Biodegradable film derived from chitosan and homogenized cellulose. Ind. Eng. Chem. Res.*, 29 (5), pp 800–805.
- Indonesian Pulp and Paper Association (APKI), (2011) Indonesian Pulp and Paper Industry Directory.
- Jesus A.G., Ochoa, D. A., (2008) *Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries*. Resources, Conservation and Recycling, Article in Press, Spain.
- Krigstin, S., dan Sain, M., (2006) Characterization and potential utilization of recycled paper mill sludge. *Pulp & Paper Canada*. 107(5): T104-107.
- Kujala, A., (2012) *Papermaking sludge and possibilities of utilization as material*. Lappeenranta University of Technology, Bachelor Seminar of Environmental Technology
- Likon, M.; Trebse, P., (2012) "Recent Advances in Paper Mill Sludge Management" Insol Ltd, Postojna, and University of Nova Gorica, Nova Gorica, Slovenia.  
[www.intechopen.com](http://www.intechopen.com). Diakses pada 18 Juni 2014.
- Monariqsa, D. N. Oktora, A. Azora, D. A. N. Haloho, L. Simanjuntak, A. Musri, A. Saputra, A. Lesbani., (2012), Ekstraksi Selulosa dari kayu Gelam (*Melaleuca leucadendron* Linn) dan Kayu Serbuk Industri Mebel. *Jurnal Penelitian Sains*, Vol. 15, No. 3 (C), Juli 2012.
- Shilpa, K., C. Neetu, K. Vivek, Bansal M. C., (2012), "Characterization of Deinking Sludge from Combined Deinking Technology". IPPTA, Vol.24/No.3 – July – September 2012.
- Silverstein, R.L., Hermann, C. & Morill, T.C., (1997), Systematic identification of organic compounds. 7th Edition. New York : John Wiley & Sons Inc.
- Smook, G. A., (2002), *Handbook for Pulp and Paper Technologist*. Third Edition, Angus Wilde Publications Inc., Canada.
- Soetopo; R. S., S. Purwati, Y. Setiawan, K. A. Wardhana, (2011), Efektivitas Proses Kontinyu Digestasi Anaerobik Dua Tahap Pada Pengolahan Lumpur Biologi Industri Kertas. *Jurnal Riset Industri*, Vol. V. No. 2, Hal 131-142.
- Suriyanarayanan, S., Mailappa, A.S., Jayakumar. D., Nanthakumar K., Karthikeyan, K., and Balasubramanian. S., (2010), Studies on the Characterization and Possibilities of Reutilization of Solid Wastes from a Waste Paper Based Paper Industry. *Global Journal of Environmental Research* .4 (1): 18-22, 2010
- Yang, W. O., Wu, W.S., (2002), Investigations of Paper Mill Sludge as a Component of Container Medium. *Plant Pathology Bulletin*. 11: 19-24. ISSN 1990-925X, © IDOSI Publications